

(57)要約

送光系（BMU）、照明光学系（14）、投影光学系（PL）のハウジング内に、光源（12）から酸素による吸収が大きい波長の紫外光を所定時間照射する。この場合、上記紫外光の照射の際には、上記のハウジング内の気体を酸素を十分に含む乾燥空気等によって置換しておく。このため、ハウジング内の気体中の酸素によって紫外光のエネルギーが吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、効率良く光学素子が洗浄される。これにより、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

| | | | |
|-----------------|------------|-------------------|---------------|
| AE アラブ首長国連邦 | DM ドミニカ | KZ カザフスタン | RU ロシア |
| AG アンティグア・バーブーダ | DZ アルジェリア | LC セントルシア | SD スーダン |
| AL アルバニア | EE エストニア | LI リヒテンシュタイン | SE スウェーデン |
| AM アルメニア | ES スペイン | LK スリ・ランカ | SG シンガポール |
| AT オーストリア | FI フィンランド | LR リベリア | SI スロヴェニア |
| AU オーストラリア | FR フランス | LS レソト | SK スロヴァキア |
| AZ アゼルバイジャン | GA ガボン | LT リトアニア | SL シェラ・レオネ |
| BA ボスニア・ヘルツェゴビナ | GB 英国 | LU ルクセンブルグ | SN セネガル |
| BB バルバドス | GD グレナダ | LV ラトヴィア | SZ スワジランド |
| BE ベルギー | GE グルジア | MA モロッコ | TD チャード |
| BF ブルキナ・ファソ | GH ガーナ | MC モナコ | TG トーゴ |
| BG ブルガリア | GM ガンビア | MD モルドヴァ | TJ タジキスタン |
| BJ ベナン | GN ギニア | MG マダガスカル | TM トルクメニスタン |
| BR ブラジル | GR ギリシャ | MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア | TR トルコ |
| BY ベラルーシ | GW ギニア・ビサオ | | TT トリニダード・トバゴ |
| CA カナダ | HR クロアチア | ML マリ | TZ タンザニア |
| CF 中央アフリカ | HU ハンガリー | MN モンゴル | UA ウクライナ |
| CG コンゴ | ID インドネシア | MR モーリタニア | UG ウガンダ |
| CH スイス | IE アイルランド | MW マラウイ | US 米国 |
| CI コートジボアール | IL イスラエル | MX メキシコ | UZ ウズベキスタン |
| CM カメルーン | IN インド | MZ モザンビーク | VN ヲトナム |
| CN 中国 | IS アイスランド | NE ニジェール | YU ユーゴスラヴィア |
| CR コスタ・リカ | IT イタリア | NL オランダ | ZA 南アフリカ共和国 |
| CU キューバ | JP 日本 | NO ノールウェー | ZW ジンバブエ |
| CY キプロス | KE ケニア | NZ ニュー・ジーランド | |
| CZ チェッコ | KG キルギスタン | PL ポーランド | |
| DE ドイツ | KP 北朝鮮 | PT ポルトガル | |
| DK デンマーク | KR 韓国 | RO ルーマニア | |

明 細 書

光学素子の洗浄方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法及びデバイス

技術分野

本発明は、光学素子の洗浄方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法及びデバイスに係り、さらに詳しくは、波長200nm以下の紫外光が照射される光学素子の洗浄に用いて好適な洗浄方法、前記紫外光を露光用照明光として用いる露光装置及び露光方法、並びに前記露光装置及び露光方法を用いるデバイス製造方法及び該方法によって製造されるデバイスに関する。

背景技術

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンをウエハ又はガラスプレート等の基板に転写する露光装置が用いられている。この種の露光装置として、近年では、レチクルのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の投影露光装置が主として用いられている。

この種の投影露光装置では、必要とされる解像力が高まるに従い、露光光の波長が短くなり、最近では波長約193nmのArFエキシマレーザ光を露光用照明光として用いるArFエキシマレーザ露光装置も開発されている。

しかるに、波長200nm以下の真空紫外（VUV）光は、光路中に空気（酸素）が存在すると、そのエネルギーの大部分が吸収されて基板面では露光に必要な

なエネルギーが得られないため、現在のA r Fエキシマレーザ露光装置では、光学系内の光路の大部分を屈折率が1に近い気体、例えばN₂等で置換し、かつ露光用照明光として酸素による吸収の少ない波長に狭帯域化したエキシマレーザ光を用いて、マスクのパターンを基板上に効率的に転写（露光）するようにされている。

ところで、投影露光装置では、レチクルのパターンを基板に正確に転写するため、多数のレンズ、ミラー等の光学素子が使われているが、これらの光学素子が収納されるハウジングや鏡筒（投影光学系のハウジング）自身からの脱ガスやもともと光学系内部の雰囲気中に存在する不純物に起因して、水や有機系の汚染物質が光学素子に微量に付着することは避けられない。しかし、これらの汚染物質はA r Fエキシマレーザ光に対して強い吸収作用を持つため、A r Fエキシマレーザ露光装置においては、上記の光学素子の表面に付着した微量な汚染物質に起因して光学系の透過率が低下するとともに光学系の結像性能が劣化するという現象が生じ、このため、基板に転写されたパターンが劣化し、結果的に製造される集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりが低下することがあった。

一方、A r Fエキシマレーザ光等の波長200nm以下の紫外光を汚染物質が付着した光学素子表面に照射することにより、該紫外光のエネルギーによって有機物が切断され、光学素子の洗浄ができることも知られており、現在のエキシマレーザ露光装置では、実際の露光動作に先立って、露光光を光学素子に照射することにより、前記光学素子表面に付着した汚染物質を除去する自己洗浄を行うのが通常である。

しかしながら、露光光のエネルギーによって有機物を切断するという上記の自己洗浄方法にあっては、洗浄効率が十分でないため、十分な洗浄効果を得るためには、露光光を光学素子に長時間照射しなければならなかった。このため、作業効率が必要以上に低下したり、高エネルギーの露光光の長時間の照射により

硝材にダメージを与えたりしていた。上記の作業効率の低下は、必然的に集積回路等のマイクロデバイスの製造コストのアップ要因となる。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、光学素子をより短時間で十分に洗浄することができる光学素子の洗浄方法を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる露光装置及び露光方法を提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、微細パターンが精度良く形成されたマイクロデバイス、及びその生産性を向上することができるデバイス製造方法を提供することにある。

発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、酸素を含む第1の気体が充填されたハウジング内に収納された光学素子の洗浄方法において、前記ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法である。

これによれば、ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することから、ハウジング内の第1の気体（酸素を含む気体）中の酸素によって紫外光のエネルギーが吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、効率良く光学素子が洗浄される。これにより、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

なお、この場合において、紫外光はハウジング内の光学素子に直接的に照射しても良いが、光学素子に直接照射することなくハウジング内の気体に照射しても良い。前者の場合には、紫外光のエネルギーにより有機物が切断される光学

素子の洗浄効果も併せて得られるので、より効率的な洗浄が期待できる。後者の場合には、硝材の受けるダメージを一層低減させることができる。

本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を該第1の気体に比べて酸素をより多く含む第2の気体によって置換しても良い。かかる場合には、ハウジング内に酸素が十分ある状態でハウジング内に紫外光が照射されるので、光化学反応により一層多量のオゾンが発生し、その多量のオゾンの酸化作用により、一層効率良く光学素子が洗浄される。

また、本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を酸素及びオゾンを含む第3の気体によって置換しても良い。かかる場合には、ハウジング内に酸素及びオゾンが存在する状態でハウジング内に紫外光が照射されるので、光化学反応により発生したオゾン及び気体中にもともと含まれるオゾンの酸化作用により、より一層効率良く光学素子が洗浄される。

本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の波長はほぼ193.23nmであっても良い。かかる波長は、酸素による紫外光のエネルギー吸収が周辺の波長帯域に比べて大きいので、上記の光化学反応によるオゾンの発生確率が高いからである。

本発明は、第2の観点からすると、マスク(R)のパターンを光学系を介して基板(W)に転写する露光装置であって、露光波長の第1の光と当該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光とを出射可能な光源ユニット(12)と；前記光源ユニットからの光をマスクに照射する照明用光学系(BMU、14)と；前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系(PL)と；前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時には、前記光源ユニットから前記第1の光が前記照明用光学系を介して前記マスクに照射されるように設定するとともに、前記照明用光学系及び前記投影光学系の少な

くとも一部を洗浄する洗浄時には、前記光源ユニットから前記第2の光が前記照明用光学系に入射されるように設定する制御装置（20）とを備える第1の露光装置である。

ここで、照明用光学系とは、広義の照明光学系を意味し、ビームマッチングユニット等の送光系をも含む概念である。

これによれば、照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、制御装置により、光源ユニットから露光波長の第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光が照明用光学系に入射されるような設定が行われ、光源ユニットからの第2の光が照明用光学系及びこれを介して投影光学系に照射され、照明用光学系及び投影光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が効率良く洗浄される。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための第2の光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好に維持することができる。

そして、洗浄が終了して、マスクのパターンを基板に転写する露光時には、制御装置により、光源ユニットから露光波長の第1の光が照明用光学系を介してマスクに照射されるような設定が行われ、光源ユニットからの第1の光がマスクに照射され、該マスクのパターンが投影光学系を介して基板に転写される。従って、酸素による吸収の少ない露光波長の光を用いて結像特性を良好に維持した光学系を介して露光が行われ、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

この場合において、前記制御装置（20）は、前記洗浄時に、前記第2の光が出射される際には、その洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンの少なくとも一方を含む洗浄用気体を注入するようにしても良い。酸素を含む洗浄用気体を

注入する場合には、洗浄対象の光路部分に酸素を含む洗浄用気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が短時間で洗浄される。また、オゾンを含む洗浄用気体を注入する場合には、洗浄対象の光路部分にオゾンを含む洗浄用気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その洗浄用気体中に含まれるオゾンの酸化作用によって照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が短時間で洗浄される。

本発明に係る第1の露光装置では、上記の洗浄用気体は、酸素を十分含む気体であっても良く、あるいは前記洗浄用気体は、酸素及びオゾンを含む気体であっても良い。前者の場合には、洗浄対象の光路部分に酸素を十分含む気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応により、より多くのオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が一層短時間で洗浄される。また、後者の場合には、洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンを含む気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾン及び前記気体中に含まれるオゾンの酸化作用によって照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）がより一層短時間で洗浄される。

本発明に係る第1の露光装置では、前記制御装置（20）は、前記露光時に、前記第1の光の出射に先立って、前記光学系内に屈折率が1に近い気体、例えば窒素ガス（ N_2 ）を注入しても良い。かかる場合には、第1の光として波長200nm以下の真空紫外（VUV）光を用いてもその紫外光のエネルギーが酸素によって殆ど吸収されず基板面で十分な光強度が得られるとともに光学系の結像性能を良好に維持した状態で露光が行われ、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生

産性をともに向上させることができる。

本発明に係る第1の露光装置では、光源ユニットの構成は種々考えられる。例えば、前記光源ユニットが、前記第1の光を出射する第1の光源と、前記第2の光を出射する第2の光源とを有する場合、前記制御装置は、前記第1の光源からの第1の光と前記第2の光源からの第2の光とを択一的に前記照明用光学系に導くこととすることができる。

あるいは、前記光源ユニット(12)は、単一の光源(12a)と、該光源からの出射光の波長を切り換える切り換え機構(18)とを有していても良く、この場合、前記制御装置は、前記露光時と前記洗浄時とで前記切り換え機構を介して前記光源からの出射光の波長を切り換えることとすることができる。

この場合において、前記切り替え機構は、前記光源からの出射光の波長幅を狭帯域化する狭帯域化モジュールの一部を駆動する駆動機構により構成することができる。

また、この場合、前記狭帯域化モジュールが、前記光源ユニットからの出射光の波長幅を変更可能としても良く、この場合、前記制御装置は、前記洗浄時に、前記駆動機構を介して、前記狭帯域化モジュールで狭帯域化される波長幅を酸素の吸収帯域を含む波長幅に変更することとすることができる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記第2の光は、波長がほぼ193.23nmのArFエキシマレーザ光であっても良い。かかる波長は、酸素による吸収が周辺の波長帯域に比べて大きいので、上記の光化学反応によるオゾンの発生確率が高くなり、より一層光学素子の洗浄時間の短縮が可能になる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記光源ユニット(12)から前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置を更に備え、前記制御装置は、前記第2の光の強度が前記第1の光の強度より高くなるように前記調整装置を制御することとすることができる。

かかる場合には、洗浄時に光学系に照射される第2の光の強度(ピークパワ

一) が露光時に照射される第 1 の光の強度より高くなるので、光学素子の洗浄を一層効率的に行うことができ、洗浄時間の更なる短縮が可能となる。

本発明は、第 3 の観点からすると、マスク (R) のパターンを光学系を介して基板 (W) に転写する露光装置であって、少なくとも露光波長を含む所定波長幅の光を出射可能な光源ユニット (12) と；前記光源ユニットからの前記光をマスクに照射する照明用光学系 (BMU、14) と；前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系 (PL) と；前記光源ユニットから前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置と；前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時に比べて前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時に前記出射光の強度が高くなるように前記調整装置を制御する制御装置 (20) とを備える第 2 の露光装置である。

ここで、照明用光学系とは、前述と同様に、広義の照明光学系を意味し、ビームマッチングユニット等の送光系をも含む概念である。

これによれば、照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、制御装置により、光源ユニットからマスクの配置面（マスクが配置される面）に至る光の光路の一部に配置された調整装置からの出射光の強度が露光時より高くなるように調整装置が制御される。このため、光源ユニットからその強度が高く設定された光（露光波長と同一波長であっても良い）が照明用光学系及びこれを介して投影光学系に照射され、照明用光学系及び投影光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が効率良く洗浄される。この場合、洗浄用の光の光強度が高くなっている分、オゾンの発生量が多くなり、より大きな洗浄効果が生じる。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好

に維持することができる。

そして、洗浄が終了して、マスクのパターンを基板に転写する露光時には、制御装置によって調整装置からの出射光の強度が洗浄時より低い所定の強度となるように調整装置が制御され、光源ユニットからの露光波長の光がマスクに照射され、該マスクのパターンが投影光学系を介して基板に転写される。この露光中は、光化学反応によるオゾンの発生が低く抑えられるので、オゾンによる露光光の吸収は低く、露光光の透過率を十分高く維持して露光が行われる。従って、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

この場合において、前記調整装置の構成は種々考えられるが、例えば、前記調整装置は、前記光路の一部に挿入・退避可能に設けられ、前記光路上を通る光束を分割するビームスプリッタを含み、前記分割された一方の光束を遅延光路に廻し、再び分割した光路に戻す光遅延素子を少なくとも1つ有する構成とし、前記制御装置は、前記ビームスプリッタを、前記露光時には前記光路上に挿入し、前記洗浄時には前記光路上から退避させることとすることができる。かかる場合には、光洗浄を行う際には、制御装置により、ビームスプリッタが前記光路（光源ユニットからマスクの配置面に至る光の光路）から退避されるので、光源ユニットからの光がダイレクトに洗浄部に導かれる。このため、十分な光強度で光洗浄が行われる。この一方、露光時には、制御装置によりビームスプリッタが前記光路上に挿入されるので、光遅延素子を構成するビームスプリッタにより光源ユニットからの光束が分割され、その分割された一方の光束と他方の光束間に遅延光路の光路長分だけ光路長差（光路差）が生じ、通常遅延光路の光路長は光源の可干渉長以上に設定するので、結果的に被照射面（マスク面及び基板面）におけるスペックルや干渉縞の発生が低減される。従って、像面（基板面）における照度均一性が良好となり、線幅均一性の向上による高精度な露光が可能になる。

本発明は、第4の観点からすると、マスク（R）のパターンを光学系を介して基板（W）に転写する露光方法であって、前記光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で前記光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光を所定時間照射する第1工程と；前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；前記マスクに前記露光波長の紫外光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む第1の露光方法である。

これによれば、第1工程において、光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光が所定時間照射される。これより、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学系（内の光学素子）が効率的に洗浄される。次に、第2工程において、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体が屈折率が1に近いガスで置換される。そして、この置換が終了すると、第3工程において、マスクに露光波長の紫外光を照射してマスクのパターンが光学系を介して基板に転写される。このように、本発明によれば、光学系の洗浄が必要なときに、露光光の波長を酸素による吸収の大きい波長に変更し、光路に光洗浄に必要な酸素が十分にある状態で光学系内部の光学素子を洗浄し、この洗浄後に露光光の波長と光路中の酸素濃度を元に戻した状態で基板に対しマスクパターンを転写する（露光を行なう）。これにより、基板に転写されるパターン像の劣化を防ぎ、集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりを向上させ、生産性を向上させることができるので、結果的に製造コストを下げることができる。

ここで、上記第1工程における処理は、光学系内部の光路全体に酸素が十分に存在する状態で行われても良いが、特に洗浄の必要な光路の一部分、例えば光源から遠く洗浄され難い基板に近い光路部分にのみ酸素が十分に存在する状態で

行われても良い。また、第1工程の処理、すなわち洗浄は、露光装置製造直後や、長期露光動作停止後、あるいは露光条件又は照明条件の変更時等、光学素子表面の汚染による結像特性の劣化が予想される場合に行なうことが効率的である。

本発明に係る第1の露光方法では、前記第1工程で照射される紫外光の強度は、前記第3工程で照射される紫外光の強度に比べて高くしても良い。かかる場合には、強度の高い紫外光により効率良く、光洗浄を行なうことができる。

本発明は、第5の観点からすると、マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、露光時の第1の光に比べて光の強度が高い第2の光を前記光学系に所定時間照射する第1工程と；前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；前記マスクに露光波長の前記第1の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む第2の露光方法である。

これによれば、第1工程において、光学系に露光時の第1の光（露光光）に比べて光の強度が高い第2の光（露光波長と同一波長、あるいは異なる波長のいずれであっても良い）が所定時間照射される。光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学系（の光学素子）が効率良く洗浄される。この場合、洗浄用の光の光強度が高くなっている分、オゾンの発生量が多くなり、より大きな洗浄効果が生じる。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好に維持することができる。次に、第2工程において、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体が屈折率が1に近いガスで置換される。そして、この置換が終了すると、第3工程において、マスクに強度が洗浄時より低い所定の強度の露光波長の第1の光を照射してマスクのパターンが光学系を介して基板に転写される。このように、本発明によれば、光学系の洗

浄が必要なときに、露光光の強度を洗浄効果がより大きな高い強度に設定して、光学系内部の光学素子を効率よく洗浄し、この洗浄後に露光光の強度（及び波長）と光路中の酸素濃度を元に戻した状態で基板に対しマスクパターンを転写する（露光を行なう）。この露光中は、光化学反応によるオゾンの発生が低く抑えられるので、オゾンによる露光光の吸収は低く、露光光の透過率を十分高く維持して露光が行われる。従って、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて露光を行うことにより、基板上にパターンを精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。同様に、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができ、これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。従って、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光方法又は本発明の露光装置を用いるデバイス製造方法であり、また、該製造方法によって製造されたデバイスであるとも言える。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図2は、図1の光源ユニットの一構成例を示す図である。

図3は、図1の光源ユニットの他の構成例を示す図である。

図4は、図1のビームマッチングユニットBMUの一構成例を示す図である。

図5は、波長193.3nm近傍の乾燥空気雰囲気中を透過した光強度分布

を示す線図である。

図6は、図1の装置の光学系内に乾燥空気とオゾンの混合ガスを供給する場合の例について説明するための図である。

図7は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

図8は、図7のステップ404における処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施形態を図1～図6に基づいて説明する。図1には、一実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、ステップ・アンド・スキャン方式でマスクとしてのレチクルRのパターンを基板としてのウエハW上の複数のショット領域に転写する半導体製造用の走査型露光装置である。

露光装置10は、光源ユニット12、照明光学系14、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWを保持するウエハステージWST、及びこれらの制御系等を備えている。

前記光源ユニット12としては、ここではArFエキシマレーザ装置が用いられている。この光源ユニット12は、実際には、設置床の上面又は別の部屋（例えば露光装置本体が設置される超クリーンルームに比べてクリーン度の低いサービスルーム、あるいは超クリーンルーム床下に設けられたユーティリティスペースなど）内に設置されるが、図1では図示の便宜上から照明光学系14の上方に示されている。この光源ユニット12は、ハウジングとこのハウジング内に配置された光学素子（例えば、複数の可動反射鏡等）とから構成されたビームマッチングユニットと呼ばれる送光系BMUを介して照明光学系14に接続されている。

なお、ビームマッチングユニットBMUの具体的構成例については後述する。

本実施形態では、ビームマッチングユニットBMUと照明光学系14とによって、光源ユニット12からの光をレチクルRに照射する照明用光学系が構成されている。

前記光源ユニット12は、レーザ共振器12a、該レーザ共振器12aから出射されるレーザビームの光路上に配置された透過率が97%程度のビームスプリッタ12b、該ビームスプリッタ12bの反射光路上に配置されたビームモニタ機構12c、高圧電源12d（図1では図示せず、図2、図3参照）等を備えている。

図2には、光源ユニット12の構成の一例が示されている。この図2に示されるように、光源ユニット12の前記構成各部（12a、12b、12c、12dなど）は、ハウジング13内に収納されている。

この内、前記レーザ共振器12aは、図2に示されるように、放電電極を含むエキシマレーザチューブ（レーザチャンバ）202、該エキシマレーザチューブ202の後側（図2における紙面内左側）に配置された全反射ミラー（リアミラー）201、エキシマレーザチューブ202の前側（図2における紙面内右側）に配置された低反射率ミラー（フロントミラー）205、並びにエキシマレーザチューブ202とフロントミラー205との間に順次配置された固定のファブリ・ペロー・エタロン（Fabry-Perot etalon）203及び可変傾角のファブリ・ペロー・エタロン204等を含んで構成されている。

この場合、リアミラー201とフロントミラー205とによって、共振器が構成され、コヒーレンシを少し高めるようにされている。

また、ファブリ・ペロー・エタロン（以下、「エタロン」と呼ぶ）203とエタロン204とにより狭帯域化モジュールが構成されている。これを更に詳述すると、エタロン203、204は2枚の石英板を所定のギャップで平行に対向させたもので、一種のバンドパスフィルタとして働く。エタロン203、204のうちエタロン203は粗調用で、エタロン204は微調用である。これ

らのエタロン 203、204 は、レーザ共振器 12a から射出されるレーザビーム L B のスペクトル幅を、ここでは自然発振スペクトル幅の約 $1/100 \sim 1/300$ 程度に狭めて出力する。また、エタロン 204 の傾角を調整することにより、レーザ共振器 12a から射出されるレーザビーム L B の波長（発振波長）を所定範囲でシフトできるようになっている。

この他、レーザ共振器 12a を、例えば図 3 のように構成しても良い。この図 3 のレーザ共振器 12a は、図 2 のレーザ共振器を構成する粗調用のエタロン 203 を取り去り、リアミラー 201 の代りに波長選択素子としての反射型の回折格子（グレーティング）206 を傾斜可能に設けたものである。この場合、グレーティング 206 とフロントミラー 205 とによって共振器が構成されている。また、グレーティング 206 と微調用のエタロン 204 とによって前述と同様の機能の狭帯域化モジュールが構成されている。この図 3 のレーザ共振器 12a の場合、グレーティング 206 は波長設定時の粗調に用いられ、エタロン 204 は微調に用いられる。エタロン 204 及びグレーティング 206 のうちいずれかの傾斜角を変更すれば、レーザ共振器 12a から射出されるレーザビーム L B の波長（発振波長）を所定範囲で変化させることができる。

なお、狭帯域化モジュールを、例えばプリズムと回折格子（グレーティング）とを組み合わせたものによって構成することも可能である。

前記ビームモニタ機構 12c は、ここではディフューザ、エタロン素子、ラインセンサ及びエネルギーモニタ（いずれも図示省略）から構成されている。このビームモニタ機構 12c の検出信号は、制御装置 20 に供給されるようになっている。ビームモニタ機構 12c を構成するディフューザを通過した光はエタロン素子で回折し、フリンジパターンを形成する。このフリンジパターンは、入射光の中心波長、スペクトル半値幅（波長幅）に対応したものとなっており、ラインセンサからこのフリンジパターンの撮像信号が制御装置 20 に出力される。制御装置 20 ではこのフリンジパターンの撮像信号に所定の信号処理を施

すことにより、ビームモニタ機構 12 c に対する入射光の光学特性に関する情報を得るようになっている。また、同時に制御装置 20 ではエネルギーモニタの出力に基づいて、レーザビーム L B のエネルギーパワーをも検出する。

光源ユニット 12 には、前記レーザ共振器 12 a を構成する、エタロン 204 (図 2 の場合)、グレーティング 206 及びエタロン 204 (図 3 の場合)、あるいはグレーティングやプリズム等の分光素子の駆動機構 18 が併設されている (図 2、図 3 参照)。

そして、この駆動機構 18 が、上記ビームモニタ機構 12 c に対する入射光の光学特性に関する情報 (ビームモニタ機構 12 c の検出結果) に基づいて制御装置 20 により制御され、中心波長及びスペクトル半値幅 (波長幅) が所望の範囲内に制御されるようになっている。この場合、中心波長は、所定範囲、例えば 192.9 nm ~ 193.6 nm の範囲内でほぼ連続的に調節できるようになっている。すなわち、本実施形態では、レーザ共振器 12 a から出射されるレーザビーム (ArF エキシマレーザ光) L B の波長を調整する切り換え機構が、駆動機構 18 によって構成されている。

また、制御装置 20 では、通常の露光時には、前記ビームモニタ機構 12 c を構成するエネルギーモニタの出力に基づいて検出したエネルギーパワーに基づいて、光源ユニット 12 での 1 パルスあたりのエネルギーが 1 パルスあたりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源 12 d での電源電圧をフィードバック制御する。

この他、光源ユニット 12 のハウジング 13 内におけるビームスプリッタ 12 b の照明光学系 14 側には、制御装置 20 からの制御情報に応じてレーザビーム L B を遮光するためのシャッタ 12 f も配置されている。

図 4 には、ビームマッチングユニット BMU の構成の一例が示されている。このビームマッチングユニット BMU の主たる機能は、光源ユニット 12 から入射する狭帯域化されたレーザビーム (以下、適宜「紫外パルス光」あるいは

「A r F エキシマレーザ光」ともいう) L B の光路を次に述べる照明光学系 1 4 との間で位置的にマッチングさせる、すなわち照明光学系 1 4 の光軸に対して常に所定の位置関係で入射するように、紫外パルス光 L B の照明光学系 1 4 への入射位置や入射角度を最適に調整することにある。

この図 4 に示されるビームマッチングユニット B M U は、紫外パルス光 L B の光路上に順次配置された第 1、第 2 の光遅延素子 5 2、5 4 とから構成されている。

この内、第 1 の光遅延素子 5 2 は、紫外パルス光 L B の光路上にその光軸に直交する面に対して所定角度を成す状態で配設され、紫外パルス光 L B の一部を透過させ、残りを反射して分割するビームスプリッタとしてのハーフミラー 5 6 と、このハーフミラー 5 6 による反射光の光路上に配置され、該反射光を所定時間遅延させる三角形の遅延光路 6 4 を構成する 3 枚のミラー 5 8、6 0、6 2 とから構成されている。ハーフミラー 5 6 としては、反射率が約 3 3 % ~ 5 0 % 程度のものが用いられている。また、遅延光路 6 4 の光路長は、一例として、被照射面であるレチクル R のパターン面と共役な光源ユニット 1 2 近傍の位置での空間分解能内の光の波長分布で決まる可干渉長 d の 2 倍である $2d$ とされている。従って、ハーフミラー 5 6 で反射された反射光は、ミラー 5 8、6 0、6 2 を順次経由して、ハーフミラー 5 6 を透過した透過光から $2d$ の光路差に対応する時間（以下、便宜上「遅延時間 T」と呼ぶ）だけ遅れて、ハーフミラー 5 6 に戻る。そして、この光は、再びハーフミラー 5 6 で透過光と反射光に分割される。そして、この反射光は、前述した透過光（基本光線）と同一の光路に沿って次段の第 2 の光遅延素子 5 4 に向かって進む。この場合、遅延光路内を光が、無限回、巡回するので、原理的には、ハーフミラー 5 6 から無限回光が出てくることになるが、ハーフミラーの反射率やミラーの反射率に起因して 3 ~ 4 廻り目の光はその光量が殆ど零となる。

上述のように、第 1 の光遅延素子 5 2 では、ハーフミラー 5 6 で分割された

光相互間に上記遅延時間 T を与えるので、分割された波連において偏光を除去でき、コヒーレンシーを低減できるようになっている。また、この場合、ハーフミラー56を最初に透過する光線を基本光線としている。

前記第2の光遅延素子54は、第1の光遅延素子52から射出される紫外パルス光LBの光路上に配設されたビームスプリッタとしてのハーフミラー66、及び三角形形状の遅延光路68を形成するように配置された3枚のミラー70、72、74とによって、前述した第1の光遅延素子52とほぼ同様に構成されている。この場合、ハーフミラー66の面の法線方向と、前述したハーフミラー56の面の法線方向とは垂直に交差する向きで、ハーフミラー66が配置されている。従って、前述した遅延光路64によって形成される面と、遅延光路68によって形成される面とは直交する。また、遅延光路68の光路長は、前述した遅延光路64の光路長の3倍である $6d$ に設定されている。

従って、ハーフミラー66で反射された反射光は、ミラー70、72、74を順次経由して、ハーフミラー66を透過した透過光から $6d$ の光路差に対応する時間 $3T$ だけ遅れて、ハーフミラー66に戻る。そして、この光は、再びハーフミラー66で透過光と反射光に分割され、この反射光は、前述した透過光と同一の光路上を後述する照明光学系14内の不図示のビーム整形光学系に向かって進む。この場合も、分割された波連において偏光を除去でき、コヒーレンシーを低減できるようになっている。また、この場合、ハーフミラー66を最初に透過する光線を基本光線としている。

上述のようにして構成されたビームマッチングユニットBMUでは、2つのハーフミラー56、66の偏角を、不図示のオートコリメータを介して制御装置20によって調整することで、照明光学系14の光軸に対して常に所定の位置関係で入射するように、紫外パルス光LBの照明光学系14への入射位置や入射角度を最適に調整する、いわゆる光軸合わせを行うようになっている。ハーフミラー56、66の偏角の調整に併せて、ミラー58、60、62及びミ

ラー 70、72、74 の偏角の調整が制御装置 20 により不図示のオートコリメータを介して行われる。

なお、光遅延素子（光遅延回路）については、特願平 10-117434 号公報及びこれに対応する米国特許出願（シリアル No.）09/300660 号（出願日 1999 年 4 月 27 日）に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

さらに、本実施形態では、図 4 中に矢印 C、C'、矢印 D、D' でそれぞれ示されるように、ハーフミラー 56、66 は、それぞれ不図示のスライド機構によって紫外パルス光 LB の光路に対して挿入・離脱（出脱）自在の構造となっている。このスライド機構は、制御装置 20 によって後述するように制御される。ハーフミラー 56、66 が、紫外パルス光 LB の光路上から図 4 中に仮想線でそれぞれ示される位置まで退避された状態では、光源ユニット 12 からのレーザビーム（紫外パルス光）LB は、ダイレクトに照明光学系 14 に入射することは、勿論である。

図 1 に戻り、前記照明光学系 14 は、例えば、特開平 4-196513 号及びこれに対応する米国特許第 5,473,410 号などに詳細に開示されるように、ハウジング内に所定の位置関係で配置されたビーム整形光学系（シリンダレンズやビームエキスパンダから構成される）、エネルギー粗調器、フライアイレンズ等を含む 2 次光源形成光学系、集光レンズ系、レチクルブラインド、及び結像レンズ系等（いずれも図示省略）から構成されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この照明光学系 14 は、照度分布のほぼ均一な露光用照明光でレチクル R 上の矩形（あるいは円弧状）の照明領域を照明する。この照明光学系 14 内の 2 次光源形成光学系と結像レンズ系との間には、透過率が 97% 程度のビームス

プリッタ14aが配置されている。このビームスプリッタ14aの反射光路上には、光電変換素子から成るインテグレータセンサと呼ばれる入射光量計測器22が配置されている。この入射光量計測器22からの光電変換信号が制御装置20に供給されるようになっている。入射光量計測器22の出力は、予め不図示の基準照度計の出力に対してキャリブレーションされている。また、入射光量計測器22の出力に対して前述したエネルギーモニタの出力がキャリブレーションされており、この際に両出力値の変換係数（又は変換関数）が予め求められ、その変換係数が制御装置20内のメモリに格納されている。

前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば静電吸着により固定されている。また、このレチクルステージRSTは、不図示のレチクルベース上をリニアモータ等を含むレチクル駆動部24により、所定の走査方向（ここではY軸方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっている。また、このレチクルステージRSTは、レチクル駆動部24によってY軸に直交するX軸方向及びXY面に直交するZ軸回りの回転方向（ θ 方向）にも微少駆動可能な構成となっている。

レチクルステージRSTの位置は、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）25により例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。このレチクル干渉計25からのレチクルステージRSTの位置情報（又は速度情報）は制御装置20に送られ、制御装置20ではレチクルステージRSTの位置情報（又は速度情報）に基づいてレチクル駆動部24を介してレチクルステージRSTを制御する。

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小光学系で、鏡筒（ハウジング）内に光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLの投影倍率は、例えば1/5（あるいは1/4）である。こ

のため、照明光学系 14 からの照明光によってレチクル R の照明領域が照明されると、このレチクル R を通過した照明光により、投影光学系 P L を介してレチクル R の照明領域内の回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にフォトリソが塗布されたウエハ W 上の前記照明領域と共役な露光領域に形成される。

前記ウエハステージ W S T は、投影光学系 P L の下方に配置され、リニアモータ、あるいは磁気浮上型平面モータ等を含む駆動装置 26 によって、不図示のウエハベース上を X Y 2 次元平面内で駆動される。このウエハステージ W S T の上面に不図示のウエハホルダを介して基板としてのウエハ W が例えば静電吸着により固定されている。

また、このウエハステージ W S T の上面には、移動鏡 28 が設けられ、この移動鏡 28 に測長ビームを照射するウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）30 によってウエハステージ W S T の X Y 面内の位置が例えば 0.5 ~ 1 nm 程度の分解能で常時検出される。このウエハ干渉計 30 からのウエハステージ W S T の位置情報（又は速度情報）は制御装置 20 に送られ、制御装置 20 ではウエハステージ W S T の位置情報（又は速度情報）に基づいて駆動装置 26 を介してウエハステージ W S T を制御する。

さらに、ウエハステージ W S T の上面には、光電変換素子から成る出射光量計測器 32 が固定されている。この出射光量計測器 32 の受光面は、ウエハ W の表面とほぼ同一高さに設定されている。出射光量計測器 32 からの光電変換信号は、制御装置 20 に供給されるようになっている。

出射光量計測器 32 の出力は、前述した入射光量計測器 22 の出力に対して予めキャリブレーションされており、両出力の変換係数（又は変換関数）は予め求められて制御装置 20 のメモリ内に格納されている。

さらに、本実施形態の露光装置 10 では、前記光学系、すなわちビームマッチングユニット B M U、照明光学系 14、及び投影光学系 P L のそれぞれに給

気配管系と排気配管系とがそれぞれ接続されている。

これを更に詳述すると、給気配管系は、第1、第2及び第3の給気配管34A、34B、34Cを含んで構成されている。これら第1、第2及び第3の給気配管34A、34B、34Cのそれぞれの一端は、ビームマッチングユニットBMU（のハウジング）、照明光学系14（のハウジング）及び投影光学系PL（の鏡筒）にそれぞれ接続されている。また、これら3つの給気配管34A、34B、34Cの他端側はそれぞれ二股状に分岐され、各二股状の分岐部のそれぞれの一方は不図示のガスタンク（この内部には、窒素ガスN₂（酸素含有量1%以下）が収容されている）に接続され、それぞれの他方は内部に乾燥空気（Dry Air）が収容された不図示の空気タンクに接続されている。

第1の給気配管34Aの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第1、第2電磁弁38A、38Bがそれぞれ設けられている。同様に、第2の給気配管34Bの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第3、第4電磁弁38C、38Dがそれぞれ設けられている。同様に、第3の給気配管34Cの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第5、第6電磁弁38E、38Fがそれぞれ設けられている。

上記第1～第6電磁弁38A～38Fは、制御装置20によって開閉制御される（これについては後述する）。

前記排気配管系は、それぞれの一端がビームマッチングユニットBMU（のハウジング）、照明光学系14（のハウジング）、投影光学系PL（の鏡筒）にそれぞれ接続された第1、第2及び第3排気管40A、40B、40Cと、これら3つの排気管40A、40B、40Cの他端がそれぞれ接続された排気本管42とを備えている。

第1、第2及び第3排気管40A、40B、40Cには、それぞれの排気管

の管路（気体通路）内を流れる気体の酸素濃度を検出する第１、第２及び第３酸素センサ４４Ａ、４４Ｂ、４４Ｃがそれぞれ設けられている。これら３つの酸素センサ４４Ａ、４４Ｂ、４４Ｃの検出結果は制御装置２０に供給されている。

前記制御装置２０は、マイクロコンピュータ（あるいはワークステーション）を中心として構成され、上述した露光装置１０の構成各部の動作及び上記第１～第６電磁弁３８Ａ～３８Ｆの開閉を制御する。また、この制御装置２０は、例えば、入射光量計測器２２の出力とビームモニタ機構１２ｃを構成するエネルギーモニタの出力とに基づいて光源ユニット１２からビームスプリッタ１４ａの位置までの光学系の透過率（以下、適宜「第１の透過率」と呼ぶ）を算出し、また、入射光量計測器２２の出力と出射光量計測器３２の出力とに基づいて、ビームスプリッタ１４ａの位置からウエハ面までの光学系の透過率（以下、適宜「第２の透過率」と呼ぶ）を算出する演算機能をも有する。

次に、上述のようにして構成された露光装置１０における光学系（ビームマッチングユニットＢＭＵ、照明光学系１４、投影光学系ＰＬ）の自己洗浄動作、より正確には前記光学系を構成する光学素子（レンズ、ビームスプリッタ等）の自己洗浄動作について、制御装置２０の制御動作を中心として説明する。

前提条件として、第１～第６電磁弁３８Ａ～３８Ｆは、閉成されているが、排気管系及び光学系の内部には、酸素を１％以下含む高濃度の窒素ガス（第１の気体）が残存しているものとする。

自己洗浄動作の開始に当たり、制御装置２０では、第２、第４及び第６電磁弁３８Ｂ、３８Ｄ、３８Ｆを開成する。これにより、不図示の空気タンクから乾燥空気（第２の気体）が第１、第２及び第３の給気管３４Ａ、３４Ｂ、３４Ｃをそれぞれ介してビームマッチングユニットＢＭＵ、照明光学系１４及び投影光学系ＰＬ内に供給され始める。

次に、制御装置２０では、光源ユニット１２内の高圧電源１２ｄに対するト

リガパルスの出力を開始してレーザ共振器 12 a からのレーザビーム L B の発光を開始する。このときはまだ、光源ユニット 12 内のシャッタ 12 f は閉成しているものとする。

上記のレーザビーム L B の発光開始により、レーザビーム（パルス紫外光）L B がビームスプリッタ 12 b を介してビームモニタ機構 12 c に入射し、ビームモニタ機構 12 c から前述したフリンジパターンの撮像信号及びパルスエネルギー値の情報が制御装置 20 に供給される。

次に、制御装置 20 では、ビームモニタ機構 12 c からの情報に基づいてレーザビームの波長をほぼ 193.23 nm に変更するため、駆動機構 18 を介してレーザ共振器 12 a を構成するエタロン 204（又はグレーティング 206）の角度を調整する。これにより、レーザ共振器 12 a から出射されるレーザビーム L B の波長が 193.23 nm に変更される。

ここで、上記の A r F エキシマレーザ光の波長を 193.23 nm に調整する理由について説明する。図 5 には、波長 193.3 nm 近傍の乾燥空気雰囲気中を透過した A r F エキシマレーザ光の光強度分布が示されている。この図 5 において、横軸は光の波長（nm）であり、縦軸は光強度（エネルギー強度）である。すなわち、この図 5 は A r F エキシマレーザ光の酸素吸収スペクトルを実質的に示すものである。

この図 5 から明らかなように、波長 193 nm 付近は、わずかな波長の違いで酸素による光の吸収が大きく変化する。この図 5 の光強度分布を一見すると、193.02 nm 付近が光強度は最も小さく、酸素による吸収量が最大であるように見える。しかしながら、波長 192.9 nm ~ 193.6 nm の波長帯域では、A r F エキシマレーザ光源からのブロード（狭帯域化前）の光強度分布は、ほぼ山形になっており、波長 193.02 nm 近傍ではもともと光強度が小さい。このため、この波長近傍に A r F エキシマレーザ光の波長を調整しても、酸素による吸収エネルギー量はそれほど大きくならない。これに対して、

上記の波長193.23nm近傍は、もともと光強度が大きく、しかも乾燥空気雰囲気中を透過したArFエキシマレーザ光の光強度がその前後の波長帯域と比較して小さくなっているため、結論的には調整可能な波長帯域の中で酸素による吸収エネルギー量が最も大きくなる波長であると言える。そこで、本実施形態ではArFエキシマレーザ光の波長を193.23nmに調整することにより、酸素により最大限効率的にArFエキシマレーザ光の光エネルギーを吸収させ、光化学反応により最大限オゾン O_3 を発生させて、そのオゾンの酸化作用により光学素子を効果的に洗浄しようとするものである。

また、上記の波長変更とほぼ並行して、制御装置20では、ビームマッチングユニットBMUを構成するハーフミラー56、66を、不図示のスライド機構を介して図4中に矢印C、Dで示される方向に駆動して図4中に仮想線で示されるレーザビームLBの光路外の位置に退避させる。このようにするのは、次に説明する光洗浄の際に、光源ユニット12からの波長を193.23nmのレーザビームLB（第2の光）が、ビームマッチングユニットBMUを構成する第1、第2の光遅延素子52、54（各光学素子）を介することなく、ダイレクトに照明光学系14内に入射するようにするためである。その理由は、第1、第2の光遅延素子52、54を介すると、その分照明光学系14以降に照射されるレーザビームLBの強度が低下し、それによりオゾンを発生する光化学反応の程度が低くなると共に、オゾンの酸化作用による光学素子の光洗浄効果が低下するから、これを避けるためである。すなわちレーザビームのピークパワーを極力高く維持して効率的な光学素子の洗浄を行い、洗浄時間の短縮化を図るためである。

上記の波長変更及びハーフミラー56、66の退避の後、制御装置20では、光源ユニット12内のシャッタ12fを開成する。これにより、光源ユニット12からのレーザビームLBの出射が開始され、該レーザビームLBがビームマッチングユニットBMU、照明光学系14、投影光学系PLの内部空間の気

体、及び照明光学系 14、投影光学系 PL を構成する各光学素子に対し照射される。これにより波長 193.23 nm の ArF エキシマレーザ光（第 2 の光）によって自己洗浄が開始される。この自己洗浄が開始される直前若しくは直後には、光学系内部の第 1 の気体は、乾燥空気にほぼ完全に置換される。

上記の自己洗浄開始直後に、制御装置 20 では、干渉計 30 の出力をモニタしつつ駆動装置 26 を制御して出射光量計測器 32 が投影光学系 PL の直下に位置するように、ウエハステージ WST を移動させる。そして、このときの入射光量計測器 22 の出力、ビームモニタ機構 12c を構成するエネルギーモニタの出力、及び出射光量計測器 32 の出力を同時に取り込み、前述した第 1 の透過率及び第 2 の透過率を算出した後、出射光量計測器 32 が投影光学系 PL の直下から退避するようにウエハステージ WST を移動させる。以後、所定時間間隔で、上記の出射光量計測器 32 の投影光学系 PL 直下への位置決め、及びその投影光学系 PL の直下の位置から退避するためのウエハステージ WST の移動、並びに第 1、第 2 の透過率の測定・算出を繰り返し行う。

上記の状態で、レーザ共振器 12a からのレーザビーム LB の出力を続行すると、照明光学系 14 及び投影光学系 PL の光学素子表面に付着した汚染物質中の有機物がレーザエネルギーにより切断されるとともに、酸素の光化学反応により発生したオゾンによる酸化作用によって、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 及び投影光学系 PL の光学素子表面に付着した汚染物質が洗浄されるため、光学系の透過率が徐々に上昇する。

そして、制御装置 20 では、前述の如く、所定時間間隔で求めた第 1、第 2 の透過率の変化を監視し、それらの透過率の変化率がともに所定値以下、例えばほぼ零になったとき、すなわち、第 1、第 2 の透過率の時間変化が飽和状態となったときに、光学素子の洗浄が終わったと判断して、光源ユニット 12 内のシャッタ 12f を閉じ、光源ユニット 12 内の高圧電源 12d に対するトリガパルスの出力を停止する。

本実施形態では、以上のような光学素子の洗浄動作を、光学系内の光学素子に汚れが付着しやすく洗浄の必要性が高いとき、例えば、露光装置製造直後、長期間の運転停止後、あるいは露光条件又は照明条件の変更時（具体的には、照明光学系 14 内の開口絞りの交換時、レチクル交換時、投影光学系 PL 内の瞳開口変更時等）などに行なうようになっており、装置の運転中のダウンタイムの増加を極力最小限にして効率的な光学素子の洗浄を行い、露光装置本来の性能を常に引き出すようにしている。

次に、露光装置 10 における露光動作の流れについて簡単に説明する。

まず、制御装置 20 の管理下にある不図示のレチクルロード及びウエハロードによってレチクルロード及びウエハロードが行われる。

上記のレチクルロードに先立って、上述した光学系の自己洗浄が行われており、その自己洗浄の終了後に、次のようにしてエキシマレーザ光の波長調整、及び光学系内の乾燥空気を窒素ガスに置換するガス置換などが行われる。

すなわち、制御装置 20 では、光学素子の洗浄が終了したと前述の如くして判断すると、光源ユニット 12 内のシャッタ 12 f を閉成し、ビームモニタ機構 12 c の出力をモニタしつつ、レーザ共振器 12 a から出力されるレーザビーム LB の波長が露光波長である 193.30 nm になるように駆動機構 18 を制御する。これにより、シャッタ 12 f を開けば、光源ユニット 12 から露光波長のレーザビーム LB（第 1 の光）が出力されることとなる。但し、この段階では、シャッタ 12 f は未だ閉成している。

また、制御装置 20 では上記のシャッタの開成とほぼ同時に、第 2、第 4 及び第 6 電磁弁 38 B、38 D、38 F を閉成するとともに第 1、第 3 及び第 5 電磁弁 38 A、38 C、38 E を開成する。これにより、不図示のガスタンクから酸素含有量が 1 % 以下の高濃度の窒素ガス（第 1 の気体）が第 1、第 2 及び第 3 の給気管 34 A、34 B、34 C をそれぞれ介してビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 及び投影光学系 PL 内に供給され、所定時間経

過後に、ビームマッチングユニットBMU、照明光学系14及び投影光学系PL内に残存していた乾燥空気が窒素ガスにほぼ完全に置換される。この場合、制御装置20では第1、第2、第3酸素センサ44A、44B、44Cの出力がともに酸素濃度1%以下になった時点をもって光学系内の気体の窒素ガスでの置換が完了したと判断する。

さらに、制御装置20では、上記のシャッタ12fの開成とほぼ同時に、不図示のスライド機構を介してビームマッチングユニットBMUを構成するハーフミラー56、66を、図4中に矢印C'、D'でそれぞれ示される方向に駆動して、図4中に実線で示されるレーザビームLBの光路上の位置に挿入する。この場合、前述した光軸合わせ及びこれに付随するミラー58、60、62、70、72、74の傾角の調整は、予め行われ、ハーフミラー56、66、ミラー58、60、62、70、72、74の傾角は、そのときの状態に維持されているものとする。

なお、このとき、制御装置20では、必要であれば、シャッタ12fを開成して、不図示のオートコリメータを介して前述した光軸合わせ、及びこれに付随するミラー58、60、62、70、72、74の傾角の調整を行った後、シャッタ12fを閉成しても良い。

いずれにしても、次にシャッタ12fが開成されると、光源ユニット12から出力された露光波長のレーザビームLB（第1の光）が、ビームマッチングユニットBMUを構成する第1、第2の光遅延素子52、54を経由して、照明光学系14内に導かれることとなる。これにより、照射面であるレチクルRのパターン面等における可干渉性の低減が図られるようになっている。

上記のレーザ波長の切り換え、光学系内ガスの窒素ガス置換並びにハーフミラー56、66の光路上への挿入（並びに光軸調整等）が終了すると、制御装置20により、不図示のレチクル顕微鏡、ウエハステージWST上の不図示の基準マーク板、不図示のアライメント検出系を用いてレチクルアライメント、

ベースライン計測等の準備作業が所定の手順に従って行われる。このとき、制御装置 20 では、上記のレチクルアライメントを、シャッタ 12 f を開成して、露光波長の光を用いて行う。なお、レチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業については、例えば特開平 4-324923 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,243,195 号に詳細に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

なお、レチクルアライメントを露光波長以外の波長の光で行う場合には、上記のレーザ波長の切り換え、光学系内ガスの窒素ガス置換などを上記の準備作業と並行して行っても良い。

その後、制御装置 20 により、不図示のアライメント検出系を用いて例えば特開昭 61-44429 号公報及びこれに対応する米国特許第 4,780,617 号等に詳細に開示される EGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）等のアライメント計測が実行される。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

上記のアライメント計測の終了後、以下のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

この露光動作にあたって、まず、制御装置 20 では、ウエハ W の XY 位置が、ウエハ W 上の最初のショット領域（ファースト・ショット）の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージ WST を移動する。同時に、制御装置 20 では、レチクル R の XY 位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージ RST を移動する。また、制御装置 20 では、レチクル干渉計 25 によって計測されたレチクル R の XY 位置情報、ウエハ干渉計 30 によって計測されたウエハ W の XY 位置情報に基づき、レチクル駆動部 24 及び駆動装置 2

6を介してレチクルRとウエハWとを投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比で相互に逆向きにY軸方向に沿って同期移動させることにより、走査露光を行う。この走査露光中の光量制御は、入射光量計測器22の出力及びエネルギーモニタの出力に基づいて、例えばレーザ共振器12aから出力されるレーザビームのパルスエネルギー、あるいはレーザ共振器12aの発振周波数を調整することにより行われる。

このようにして、1つのショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、ウエハステージWSTが1ショット領域分だけステップングされて、次のショット領域に対する走査露光が行われる。このようにして、ステップングと走査露光とが順次繰り返され、ウエハW上に必要なショット数のパターンが転写される。

上記のウエハ上の各ショット領域に対する走査露光に際して、予め光学系内の光学素子が洗浄され、その光学性能を最大限発揮できる状態となっているので、走査露光時における光学系の結像性能の劣化に起因するウエハ上の転写パターンの劣化を防止することができる。また、走査露光中には、ビームマッチングユニットBMUを構成する第1、第2の光遅延素子52、54の可干渉性低減の機能により、被照射面であるレチクルRのパターン面及びこれに共役なウエハWの被露光面における干渉縞やスベクルの発生が効果的に抑制されるので、パターン線幅の制御性が向上している。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、上記の第1、第2の光遅延素子52、54と、該光遅延素子52、54をそれぞれ構成するビームスプリッタ56、66をレーザビームLBの光路上に挿入・離脱する不図示のスライド機構とによって、光源ユニット12からレチクルRの配置面に至る光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置が構成されている。

以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置10によると、光学系(ビ

ームマッチングユニットBMU、照明光学系14、投影光学系PL)の自己洗浄動作、より正確には前記光学系を構成するハウジング内の光学素子(レンズ、ビームスプリッタ等)の自己洗浄動作を、酸素によるエネルギー吸収が最大となる波長のレーザービームによって行い、この際に、光学系内に酸素を積極的に含む乾燥空気を注入し、光路全体に酸素が十分ある状態で行うので、レーザービームのエネルギーによる有機物切断に加えて、酸素の光化学反応により生じたオゾンの酸化作用によって光学素子に付着した汚染物質を洗浄することができ、短時間で効率的に洗浄を行うことができる。また、この洗浄の際には、洗浄に用いられるレーザービームの強度が露光時に比べて高くなるように、ハーフミラー56、66が光路上から退避されるので、より大きな洗浄効果を得ることができる。従って、作業効率の向上により、集積回路等のマイクロデバイスの製造コストの低減が可能になるとともに、高エネルギービーム(Arfエキシマレーザー光)の照射による硝材のダメージを小さくすることができる。

また、露光に際しては、予め(その直前に)、光学系の光学素子の自己洗浄を行い、その透過率を最良に維持した状態で露光を行い、ウエハ上の転写パターンの劣化を防止することができる。

また、この露光の際には、レーザービームの光路上にビームスプリッタ56、66を挿入し、第1、第2の光遅延素子52、54による光遅延を行って、被照射面における可干渉性を極力低減する。これにより、ウエハ面(像面)における微弱な干渉縞やスペckルの発生が効果的に抑制され、ウエハ上に転写されるパターン線幅の制御性(例えば、線幅均一性)が向上する。また、この場合、レーザービームが第1、第2の光遅延素子52、54を経由することにより、露光時に照射される露光光の強度が低下するので、その分、ハウジング内の窒素中に僅か(1%以下)ではあるが含まれる酸素の光化学反応の発生が抑制され、そのオゾンによる露光光の吸収を抑制することができる。これにより、露光光の透過率の低下を防止することができる。

従って、本実施形態によると、最終的に製造される集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりが向上し、この意味においてもマイクロデバイスの製造コストの低減が可能である。

なお、本実施形態の露光装置 10 では、光学系の一部、すなわち、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14、投影光学系 PL のいずれか 1 つ又は 2 つのみの光学素子の洗浄をも簡単に行なうことができる。

例えば、最も洗浄が困難なレーザ発振器 12a から遠い、投影光学系 PL 内の光学素子のみを洗浄する場合には、第 1 電磁弁 38A 及び第 3 電磁弁 38C を開成したまま（この場合、第 2 電磁弁 38B、及び第 4 電磁弁 38D は閉成状態となっている）、第 5 電磁弁 38E を閉成し第 6 電磁弁 38F を開成した状態で自己洗浄を行えば良い。このようにすれば、上方のビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 内部に窒素ガスが常時流れ込んでいる状態で、かつ投影光学系 PL 内に酸素が十分ある状態で自己洗浄が開始されるので、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 内における酸素によるレーザビームのエネルギー吸収をほぼ防止した状態で、投影光学系 PL 内の光学素子を効率的に洗浄することが可能になる。

なお、上記実施形態では、光学系内の窒素ガス（第 1 の気体）を乾燥空気（酸素を十分に含む第 2 の気体の一例）により置換した状態で光学素子の洗浄を行う場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。

例えば、図 6 に示されるように、第 1、第 2 及び第 3 の給気管 34A、34B、34C を介して乾燥空気に代えて乾燥空気とオゾン O_3 との混合ガス（酸素及びオゾンを含む第 3 の気体の一例）を供給可能な構成にしても良い。この場合には、ビームマッチングユニット BMU 及び照明光学系のハウジング、及び投影光学系 PL の鏡筒（ハウジングの一種）内の窒素ガスが乾燥空気とオゾンとの混合ガスによって置換された状態で、前記各ハウジング内に波長 193.23 nm の ArF エキシマレーザ光（真空紫外光）が照射されるので、ArF

エキシマレーザ光のエネルギーにより光学素子表面に付着した汚れ物質中の有機物が切断され、酸素の光化学反応により発生したオゾン及び混合ガス中にもともと含まれるオゾンの酸化作用により、より一層効率良く光学素子が洗浄される。

また、上記実施形態では、光学系内の光学素子を洗浄する際に、ビームマッチングユニットBMU及び照明光学系のハウジング、及び投影光学系PLの鏡筒（ハウジングの一種）内の窒素ガスを乾燥空気に置換した状態で洗浄を行う場合について説明したが、これに限らず、かかるガスの置換を行うことなく、すなわち各ハウジング内に窒素ガスを供給したままの状態、光源ユニット12から出力されるレーザビームの波長を193.23nmに切り換えて、その波長のレーザビームを所定時間照射して光学素子の自己洗浄を行っても良い。この場合にも、ハウジング内の窒素には僅か（1%以下）ではあるが酸素が含まれているので、その酸素によってレーザビーム（エネルギー）が吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、従来の露光波長のまま洗浄を行う場合に比べて効率良く光学素子が洗浄される。従って、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

また、上記のガス置換を行わない場合において、上記実施形態と同様に、照明光学系14内等に照射されるレーザビームの強度を露光時より高くするのであれば、光源ユニット12から射出されるレーザビームLBの波長の切り替えも必ずしも行わなくても良い。かかる場合であっても、ハウジング内の窒素には僅か（1%以下）ではあるが酸素が含まれているので、その酸素によってレーザビーム（エネルギー）が吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、露光時と同一の強度の光により、自己洗浄を行う場合に比べて、効率良く光学素子が

洗浄される。また、この場合、露光時に照射される露光光の強度は洗浄時に比べて低下するので、その分、ハウジング内の窒素中に僅か（１％以下）ではあるが含まれる酸素の光化学反応の発生が抑制され、そのオゾンによる露光光の吸収を抑制することができる。これにより、露光光の透過率の低下を防止することができる。

なお、上記実施形態では、照明光学系１４、投影光学系ＰＬ等の光学素子の洗浄に際して、紫外光を所定時間光学系ハウジング内の光学素子に照射する場合について説明したが、必ずしもこのようにしなくても良い。すなわち、前述したビームマッチングユニットＢＭＵ内の各光学素子の洗浄と同様に、それらのハウジング内の気体に紫外光を照射するようにしても良い。ハウジング内に酸素が十分にある状態であれば、その光学系内の光学素子に直接当たらない状態でそのハウジング内の気体に紫外光を照射することにより、その気体中の酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子を洗浄することが可能だからである。

また、上記実施形態では、露光波長の第１の光（波長１９３．３０ｎｍのパルス紫外光）と該第１の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第２の光（波長１９２．２３ｎｍのパルス紫外光）とを制御装置２０が駆動機構１８を介して単一の光源ユニット１２から出力される光の波長を切り換えて出力する場合について説明したが、これに限らず、例えば露光波長の第１の光を出射する第１の光源と、第１の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第２の光を出射する第２の光源とを設け、制御装置２０が、これらの第１の光源からの第１の光と第２の光源からの第２の光とを択一的に照明用光学系（ＢＭＵ、１４）に導くようにしても良い。この場合、制御装置２０は第１、第２の光源又はそれに付属するシャッタを択一的にオン・オフするようにしても良いが、各光源と照明光学系１４との間の光路上に、適宜な光路切り換え装置を設けてこれを切り換えるような構成にしても良い。

また、上記実施形態では、露光波長の第1の光（上記実施形態では波長193.30nmのパルス紫外光）と該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光（上記実施形態では波長192.23nmのパルス紫外光）の切り替えを、光源ユニット12から出力される光の波長を切り替える、波長シフトにより行う場合について説明したが、これに限らず、例えば、図2に示されるレーザ共振器12aを用いる場合、狭帯域化モジュールを構成する微調用のエタロン204を、矢印A、A'で示されるように、制御装置20によって制御される駆動機構18によって光路中に挿脱可能に構成しても良い。この場合、エタロン204を光路上から取り外すことにより、波長幅が酸素吸収帯を含む波長幅に変更される。これにより、上記の露光波長の第1の光と該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光の切り替えを実現することができる。

あるいは、例えば図3に示されるレーザ共振器12aを用いる場合には、露光時に用いられるエタロン204とは別に、図3中に点線で示される光洗浄時専用のエタロン207を用意しておき、制御装置20により制御される駆動機構18により、露光時と洗浄時とで、エタロン204とエタロン207とを図3中の矢印B、B'で示されるように交換可能に構成しても良い。この場合、エタロン207は、酸素吸収帯を含む波長域を抽出できるものであれば良い。このようにすると、光源（エキシマレーザチャンバ202）からの出射光の波長幅が変更され、第1の光と第2の光の切り替えを実現することができる。

また、上記実施形態では、三角形形状の遅延光路を有する第1、第2の光遅延素子52、54をビームマッチングユニットBMU内に含む場合について説明したが、これに限らず、四角形状の遅延光路を有する光遅延素子を用いても良い。この場合、その光遅延光路を、4枚のミラーに限らず、4つのプリズム等の反射光学素子を用いて構成しても良い。

また、上記実施形態の露光装置において、光洗浄を行う際に、光の波長を切

り替える波長シフト、波長幅の変更、光の強度の変更のいずれか1つを行っても良く、あるいはこれらの2つ以上を任意に組み合わせて行っても良い。

なお、上記実施形態では、本発明がA r Fエキシマレーザ装置を光源とする半導体製造用のステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキャニング・ステッパ）に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、例えばA r Fエキシマレーザ装置を光源とするステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパ）は勿論、液晶用のA r Fエキシマレーザステッパ、A r Fエキシマレーザスキャニング・ステッパ等にも好適に適用できる。また、A r Fエキシマレーザと同様の真空紫外域に属するF₂レーザの波長帯域でも酸素による吸収が波長によって異なる現象が生じると予想されるので、露光光源としてF₂レーザ光源を用いる露光装置にも本発明は適用可能である。この露光装置では、光学系内部、照明光学系と投影光学系との間及び投影光学系と基板との間の空気がヘリウムガスで置換されるので、洗浄時には157nm近傍の波長帯域の中で、酸素によるレーザ光の吸収が大きな波長に設定し、光学系の各ハウジング内に酸素を含む気体（酸素とオゾンを含む気体を含む）を供給してそのヘリウムガスをその気体で置換して、上記実施形態と同様にして光学素子の自己洗浄を行うことにより、同等の効果が期待できる。

なお、上記実施形態では、露光時に光路内に供給されるガスを窒素としたが、これに限らず、他の不活性ガス、例えば、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドンより成る希ガスを使用しても良く、又は、これらのガスを2種類以上混合した混合ガスを用いても良い。

さらに、投影光学系は、全ての光学素子が屈折系のレンズに限られず、反射素子（ミラー）で構成されるものや、屈折系のレンズと反射素子とから成る反射屈折系であっても良い。また、投影光学系は、縮小系に限られず、等倍系、拡大系であっても良い。

上記の反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平 8-171054 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,668,672 号、並びに特開平 10-20195 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,835,275 号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系を用いることができる。また、特開平 8-334695 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,689,377 号、並びに特開平 10-3039 号公報及びこれに対応する米国特許出願第 873,605 号（出願日：1997 年 6 月 12 日）などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、米国特許第 5,031,976 号、第 5,488,229 号、及び第 5,717,518 号に開示される、複数の屈折光学素子と 2 枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

さらに、反射屈折型の投影光学系としては、例えば円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率が $1/4$ 倍又は $1/5$ 倍となる縮小系を用いても良い。また、この反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置の場合、照明光の照射領域

が投影光学系の視野内でその光軸をほぼ中心とし、かつレチクル又はウエハの走査方向とほぼ直交する方向に沿って延びる矩形スリット状に規定されるタイプであっても良い。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長 157 nm の F_2 レーザ光を露光用照明光として用いても 100 nm L/S パターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能である。

また、エキシマレーザの代わりに、例えば波長 248 nm 、 193 nm 、 157 nm のいずれかに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固定レーザの高調波を用いるようにしても良い。DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザの発振波長を $1.51\sim 1.59\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $189\sim 199\text{ nm}$ の範囲内である8倍高調波、又は発生波長が $151\sim 159\text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を $1.544\sim 1.553\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $193\sim 194\text{ nm}$ の範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を $1.57\sim 1.58\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157\sim 158\text{ nm}$ の範囲内の10倍高調波、即ち F_2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を $1.03\sim 1.12\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147\sim 160\text{ nm}$ の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を $1.099\sim 1.106\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157\sim 158\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、即ち F_2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイッテルビウム・ドープ・ファイバーレー

ザを用いる。

また、露光光源としては、波長146nmのKr₂レーザ（クリプトン・ダイマーレーザ）、波長126nmのAr₂レーザ（アルゴン・ダイマーレーザ）、又はYAGレーザの高調波発生装置や半導体レーザの高調波発生装置などの真空紫外光を発生する光源を使用しても良い。

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置を製造することができる。露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

以下、デバイス製造方法について更に詳細に説明する。

《デバイス製造方法》

次に、上述した露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図7には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図7に示されるように、まず、ステップ401（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ402（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作

する。一方、ステップ４０３（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ４０４（ウエハ処理ステップ）において、ステップ４０１～ステップ４０３で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ４０５（デバイス組立ステップ）において、ステップ４０４で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ４０５には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ４０６（検査ステップ）において、ステップ４０５で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図８には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ４０４の詳細なフロー例が示されている。図８において、ステップ４１１（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ４１２（ＣＶＤステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ４１３（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ４１４（イオン打ち込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ４１１～ステップ４１４それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ４１５（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ４１６（露光ステップ）において、上で説明した露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ４１７（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ４１８

(エッチングステップ)において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ419 (レジスト除去ステップ)において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程(ステップ416)において上記各実施形態の露光装置及びその露光方法が用いられるので、投影光学系の透過率を最良に維持した状態で露光を行い、ウエハ上の転写パターンの劣化を防止することができる。また、被照射面における可干渉性を極力低減してウエハ上に転写されるパターン線幅の制御性(例えば、線幅均一性)を向上することができる。従って、重ね合せ精度の向上を含む露光精度の向上が可能となり、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、また、各実施形態のそれぞれを必要に応じて組み合わせた構成を採ることも可能である。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る光学素子の洗浄方法は、光学素子を短時間で十分に洗浄するのに適している。本発明に係る露光装置及び露光方法は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

請 求 の 範 囲

1. 酸素を含む第1の気体が充填されたハウジング内に収納された光学素子の洗浄方法において、前記ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
2. 請求項1に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を該第1の気体に比べて酸素をより多く含む第2の気体によって置換することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
3. 請求項1に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を酸素及びオゾンを含む第3の気体によって置換することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
4. 請求項1～3のいずれか一項に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の波長はほぼ193.23nmであることを特徴とする光学素子の洗浄方法。
5. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光装置であって、
露光波長の第1の光と当該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光とを出射可能な光源ユニットと；
前記光源ユニットからの光をマスクに照射する照明用光学系と；
前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系と；
前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時には、前記光源ユニット

から前記第 1 の光が前記照明用光学系を介して前記マスクに照射されるように設定するとともに、前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、前記光源ユニットから前記第 2 の光が前記照明用光学系に入射されるように設定する制御装置とを備える露光装置。

6. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記制御装置は、前記洗浄時に、前記第 2 の光が出射される際には、その洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンの少なくとも一方を含む洗浄用気体を注入することを特徴とする露光装置。

7. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記洗浄用気体は、酸素を十分含む気体であることを特徴とする露光装置。

8. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記洗浄用気体は、酸素及びオゾンを含む気体であることを特徴とする露光装置。

9. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記制御装置は、前記露光時に、前記第 1 の光の出射に先立って、前記光学系内に屈折率が 1 に近い気体を注入することを特徴とする露光装置。

10. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記光源ユニットは、前記第 1 の光を出射する第 1 の光源と、前記第 2 の光を出射する第 2 の光源とを有し、

前記制御装置は、前記第 1 の光源からの第 1 の光と前記第 2 の光源からの第 2 の光とを択一的に前記照明用光学系に導くことを特徴とする露光装置。

11. 請求項5に記載の露光装置において、

前記光源ユニットは、単一の光源と、該光源からの出射光の波長を切り換える切り換え機構とを有し、

前記制御装置は、前記露光時と前記洗浄時とで前記切り換え機構を介して前記光源からの出射光の波長を切り換えることを特徴とする露光装置。

12. 請求項11に記載の露光装置において、

前記切り替え機構は、前記光源からの出射光の波長幅を狭帯域化する狭帯域化モジュールの一部を駆動する駆動機構であることを特徴とする露光装置。

13. 請求項12に記載の露光装置において、

前記狭帯域化モジュールは、前記光源からの出射光の波長幅を変更可能であり、

前記制御装置は、前記洗浄時に、前記駆動機構を介して、前記狭帯域化モジュールで狭帯域化される波長幅を酸素の吸収帯域を含む波長幅に変更することを特徴とする露光装置。

14. 請求項5に記載の露光装置において、

前記第2の光は、波長がほぼ193.23nmのArFエキシマレーザ光であることを特徴とする露光装置。

15. 請求項5に記載の露光装置において、

前記光源ユニットから前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置を更に備え、

前記制御装置は、前記第2の光の強度が前記第1の光の強度より高くなるよ

うに前記調整装置を制御することを特徴とする露光装置。

16. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光装置であって、
少なくとも露光波長を含む所定波長幅の光を出射可能な光源ユニットと；
前記光源ユニットからの前記光を前記マスクに照射する照明用光学系と；
前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系と；
前記光源ユニットから前記マスクの配置面に至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置と；
前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時に比べて前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時に前記出射光の強度が高くなるように前記調整装置を制御する制御装置とを備える露光装置。

17. 請求項16に記載の露光装置において、

前記調整装置は、前記光路の一部に挿入・退避可能に設けられ、前記光路上を通る光束を分割するビームスプリッタを含み、前記分割された一方の光束を遅延光路に廻し、再び分割した光路に戻す光遅延素子を少なくとも1つ有し、

前記制御装置は、前記ビームスプリッタを、前記露光時には前記光路上に挿入し、前記洗浄時には前記光路上から退避させることを特徴とする露光装置。

18. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、
前記光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で前記光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光を所定時間照射する第1工程と；

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；

前記マスクに前記露光波長の紫外光を照射して前記マスクのパターンを前記

光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む露光方法。

19. 請求項18に記載の露光方法において、

前記第1工程で照射される紫外光の強度は、前記第3工程で照射される紫外光の強度に比べて高いことを特徴とする露光方法。

20. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、
露光時の第1の光に比べて光の強度が高い第2の光を所定時間照射する第1工程と；

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；

前記マスクに露光波長の前記第1の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む露光方法。

21. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項5～17のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

22. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項18～20のいずれか一項に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

23. 請求項21又は22に記載のデバイス製造方法によって製造されたことを特徴とするデバイス。

補正書の請求の範囲

[2000年5月16日(16.05.00)国際事務局受理:新しい請求の範囲24-31が加えられた;他の請求の範囲は変更なし。(3頁)]

19. 請求項18に記載の露光方法において、

前記第1工程で照射される紫外光の強度は、前記第3工程で照射される紫外光の強度に比べて高いことを特徴とする露光方法。

20. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、
露光時の第1の光に比べて光の強度が高い第2の光を所定時間照射する第1工程と;

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と;

前記マスクに露光波長の前記第1の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む露光方法。

21. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項5～17のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

22. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項18～20のいずれか一項に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

23. 請求項21又は22に記載のデバイス製造方法によって製造されたことを特徴とするデバイス。

24. (追加) 光源から射出された露光波長の第1の光を、パターンが形成さ

れたマスクを介して基板に照射する露光装置に備えられ、かつ前記光源と前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子の洗浄方法において、

前記第１の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一つを変更した第２の光を、前記光学素子に所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法。

２５．（追加） 請求項２４に記載の洗浄方法において、

前記第２の光は、前記第１の光に比べて、酸素による吸収が大きい波長の光であることを特徴とする光学素子の洗浄方法。

２６．（追加） 光源から射出された露光波長の第１の光を、パターンが形成されたマスクを介して基板に照射する露光装置であって、

前記光源と前記基板との間に配置された少なくとも一つの光学素子を洗浄する洗浄時に、前記第１の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一つを変更した第２の光を前記光学素子に入射するように設定する制御装置を備える露光装置。

２７．（追加） 請求項２６に記載の露光装置において、

前記第２の光は、前記第１の光に比べて、酸素による吸収が大きい波長の光であり、

前記制御装置は、前記光源と、前記第２の光を射出する光源とを択一的に前記光学素子に導くことを特徴とする露光装置。

２８．（追加） 光源から射出される露光波長の第１の光のもとで、マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、

前記第１の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一

つを変更した第2の光を、前記光源と前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子に所定時間照射する第1工程と；

しかる後、前記マスクに前記第1の光を照射して、前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第2工程とを含む露光方法。

29. (追加) 露光波長の第1の光を射出する光源ユニットであって、

射出される第1の光を、該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光に切り換える切換機構を備える光源ユニット。

30. (追加) 請求項29に記載の光源ユニットにおいて、

該光源ユニットは、マスクのパターンを基板に転写する露光装置に取り付けられ、

前記第1の光は、前記マスクのパターンを基板に転写する時に射出され、

前記第2の光は、前記光源ユニットと前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子を洗浄する時に射出されることを特徴とする光源ユニット。

31. (追加) 請求項30に記載の光源ユニットであって、

前記切換機構は、前記露光装置の動作を制御する制御装置によって制御されることを特徴とする光源ユニット。

Fig. 1

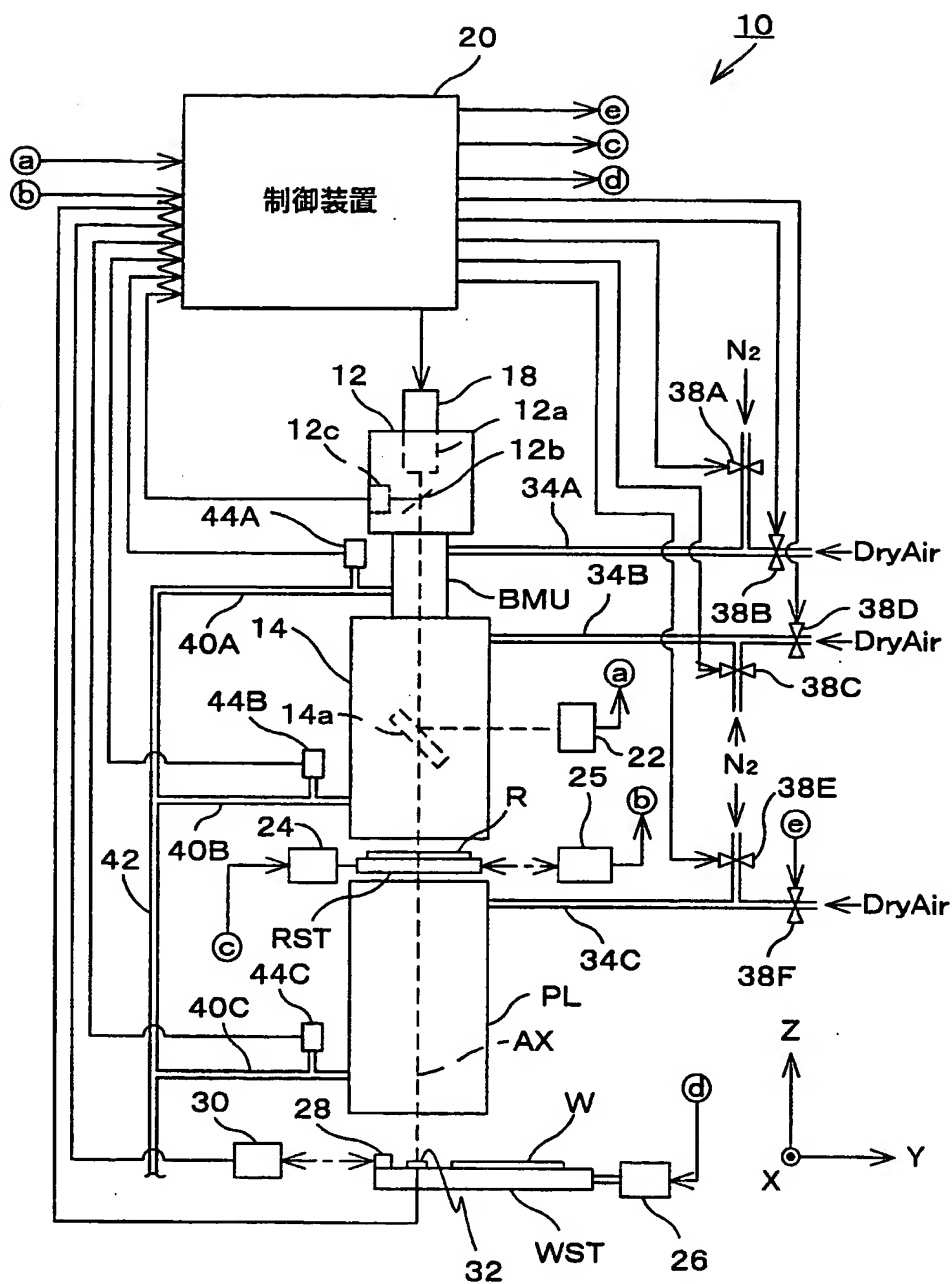


Fig. 2

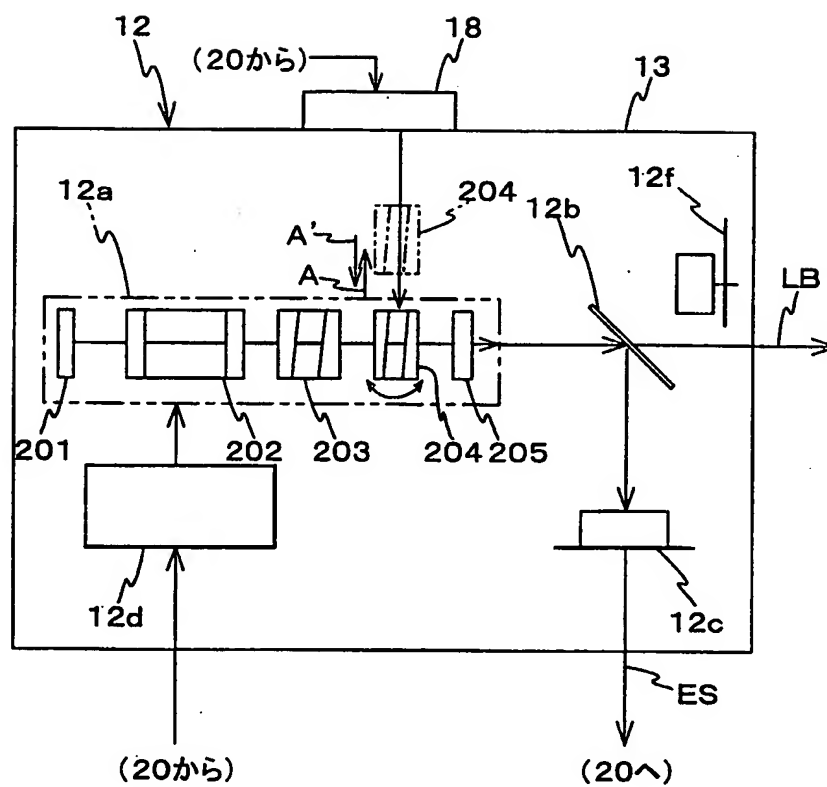


Fig. 3

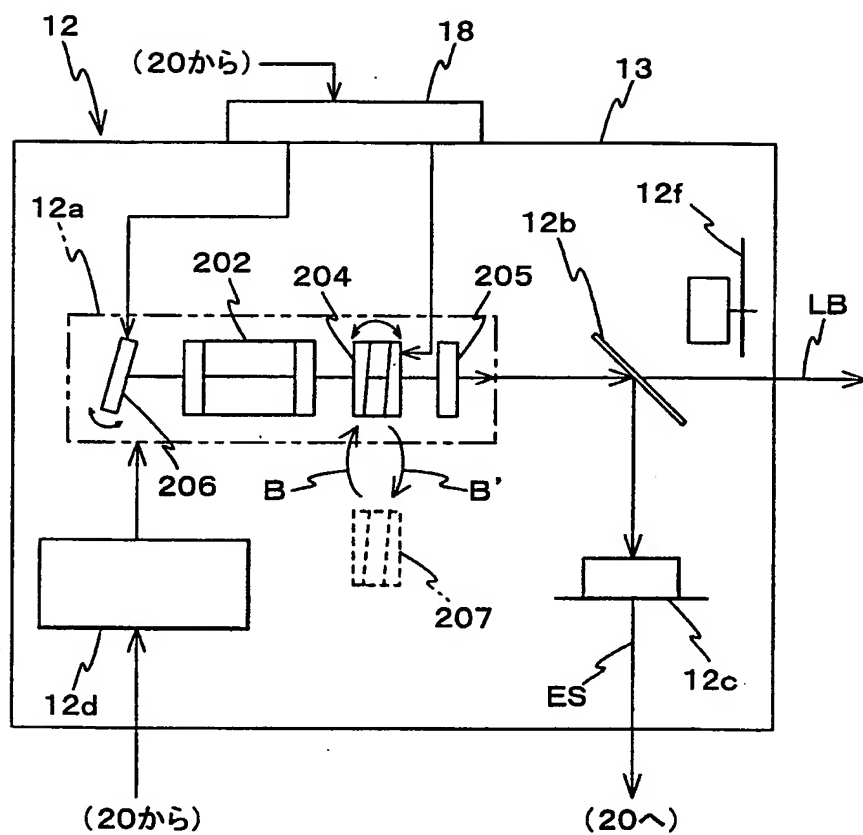


Fig. 4

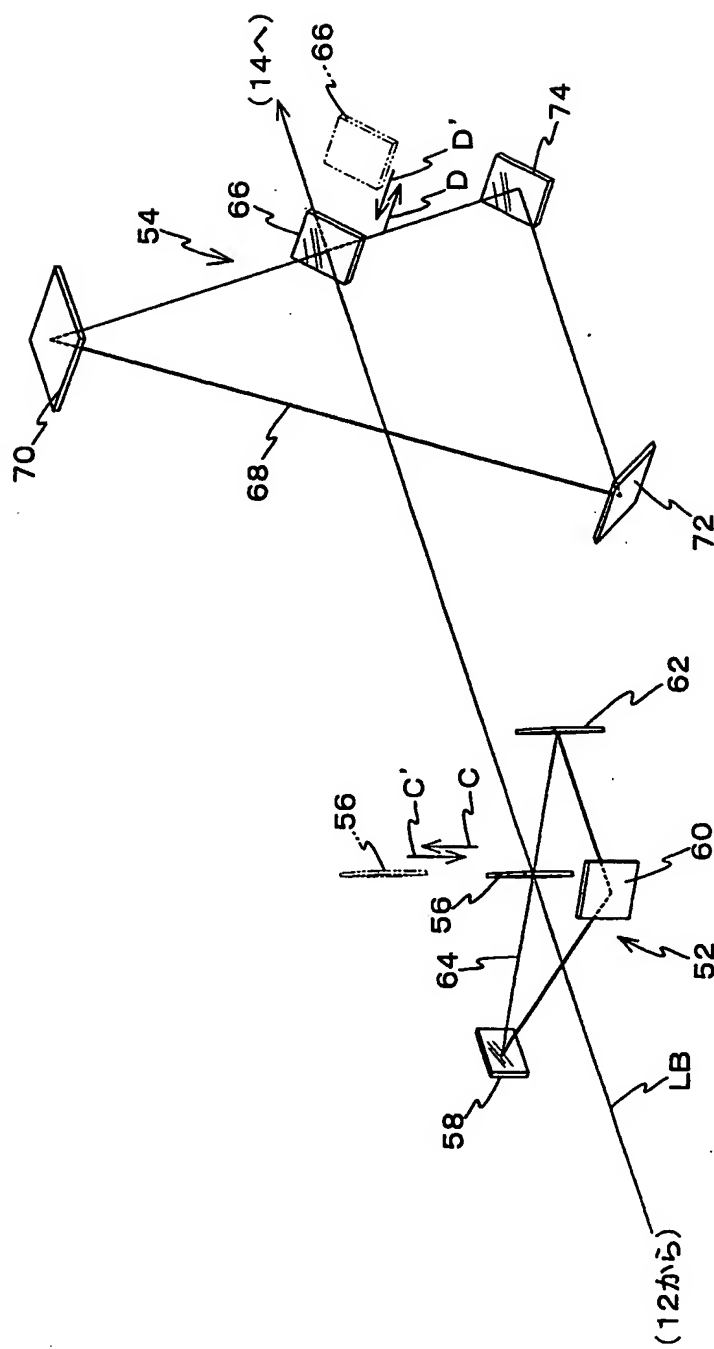


Fig. 5

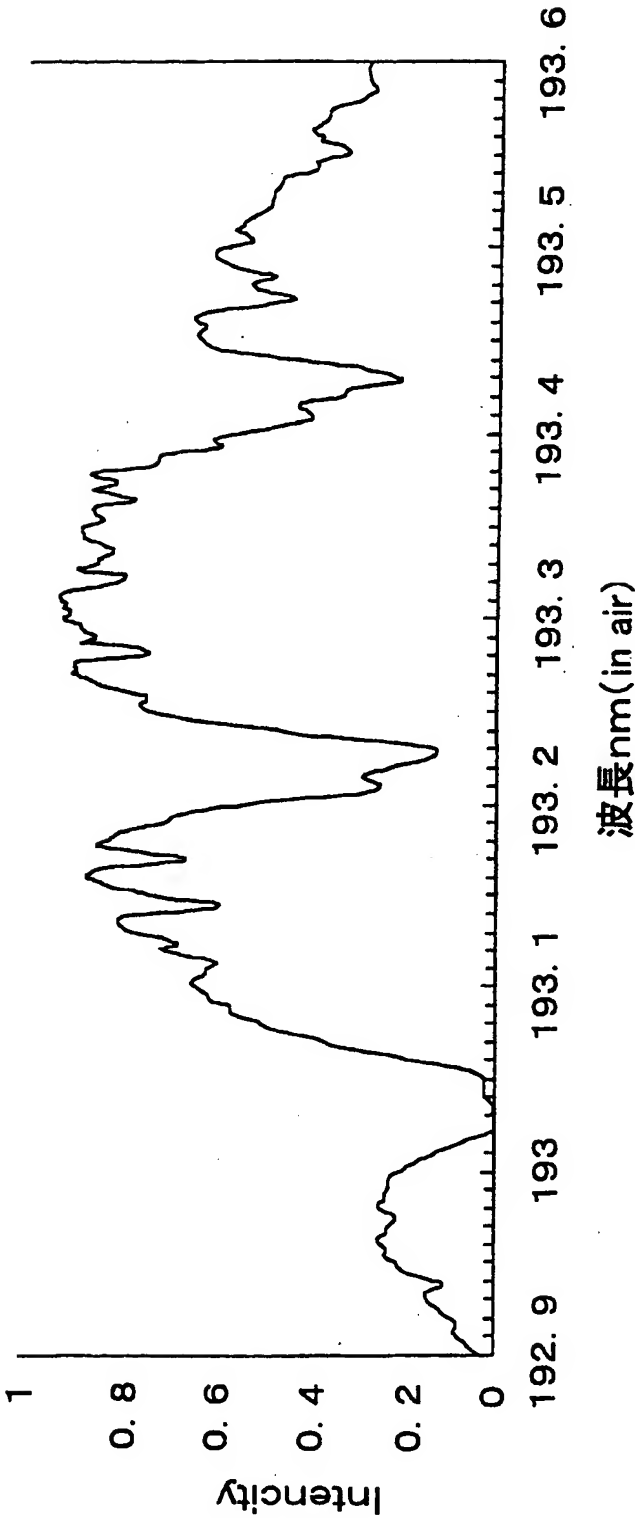


Fig. 6

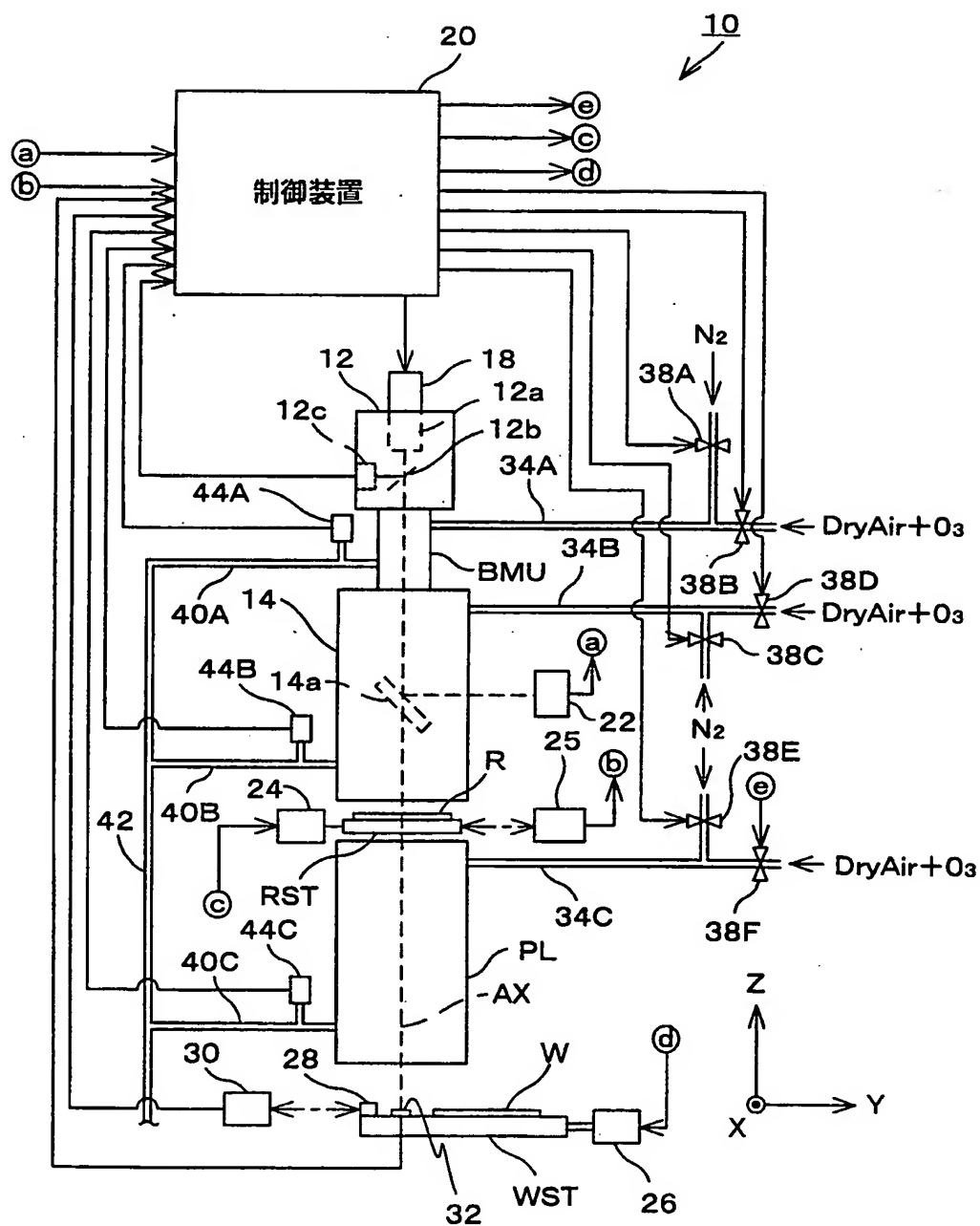


Fig. 7

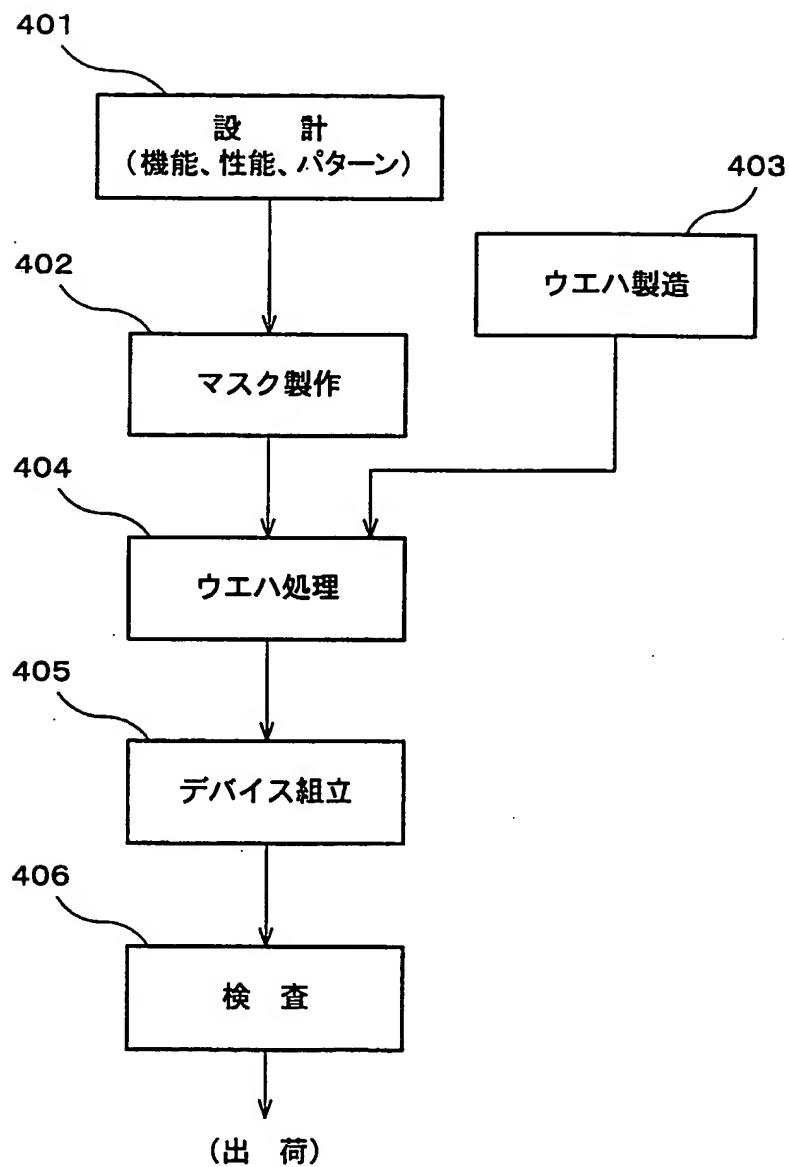
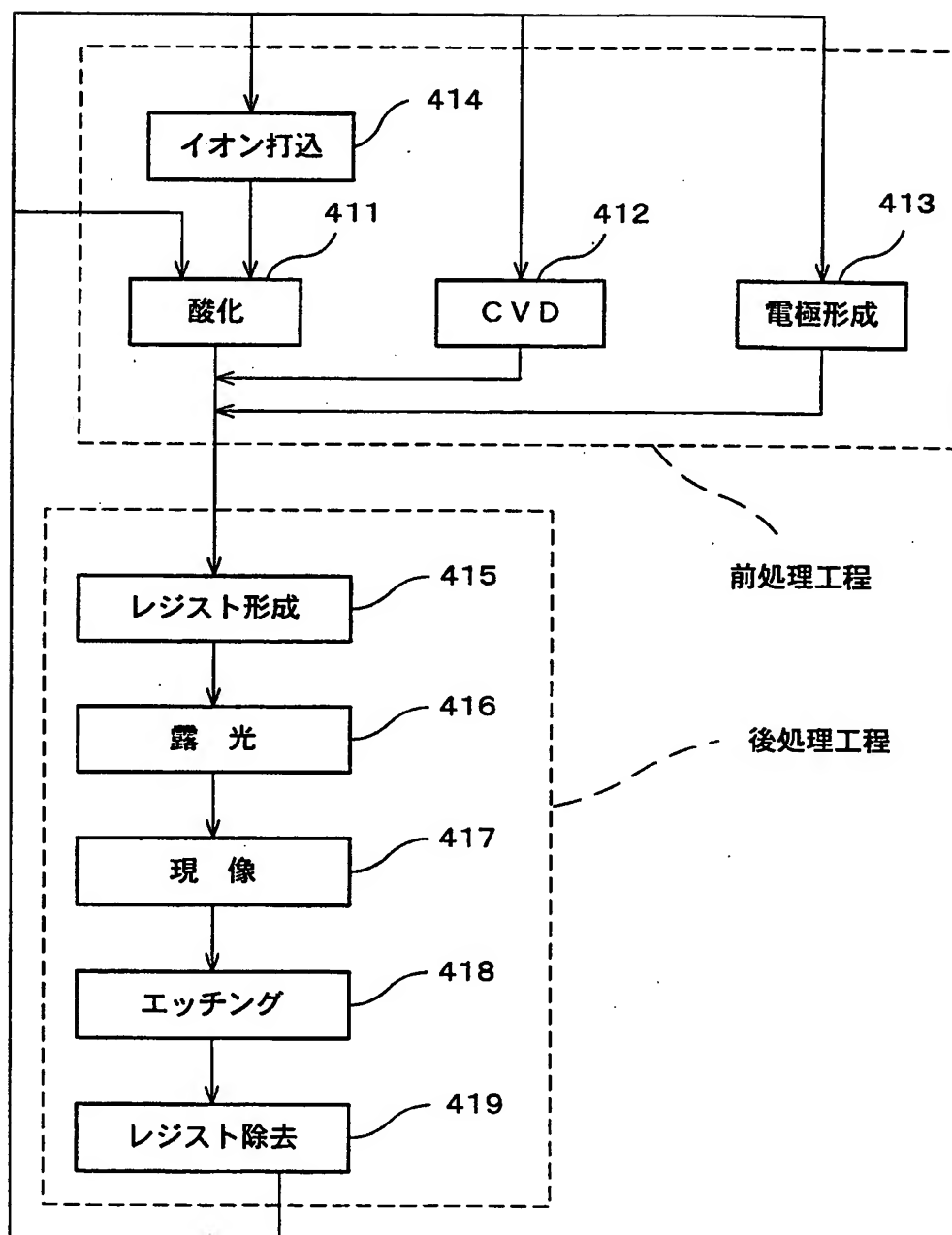


Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| X | JP, 10-303097, A (Nikon Corporation), 13 November, 1998 (13.11.98) (Family: none) | 1-23 |
| X | JP, 10-197701, A (Nikon Corporation), 31 July, 1998 (31.07.98) (Family: none) | 1-23 |
| X | EP, 660188, A (ASM LITHOGRAPHY B.V.), 28 June, 1995 (28.06.95) & JP, 7-209569, A | 1-23 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 March, 2000 (07.03.00)Date of mailing of the international search report
21 March, 2000 (21.03.00)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2000年

日本国登録実用新案公報 1994-2000年

日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| X | JP, 10-303097, A(株式会社ニコン) 13. 11月. 1998 (13. 11. 98) (ファミリーなし) | 1-23 |
| X | JP, 10-197701, A(株式会社ニコン) 31. 7月. 1998 (31. 07. 98) (ファミリーなし) | 1-23 |
| X | EP, 660188, A(ASM LITHOGRAPHY B. V.) 28. 6月. 1995 (28. 06. 95) & JP, 7-209569, A(株式会社) | 1-23 |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 03. 00

国際調査報告の発送日

21.03.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

芝 哲央

2M

7810

電話番号 03-3581-1101 内線 6221